

**Ю. В. Замараева**

Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург  
\*suslowa.iuliya2016@yandex.ru  
Научный руководитель — проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов

## **ГОФРООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКЕ ТОНКОСТЕННОГО СТАКАНА**

Выполнено математическое моделирование листовой штамповки на примере глубокой вытяжки. Применен метод конечных элементов. Сделан вывод о том, что пластическая деформация при образовании фестонов на начальных стадиях штамповки может равняться нулю. Но это не касается упругих деформаций. Они сопровождают кромку заготовки в течение всего процесса штамповки без прижима. Интенсивность напряжений вдоль тангенциальной координаты непрерывно изменяется, что приводит к волнообразному изменению профиля заготовки.

*Ключевые слова:* листовая штамповка, глубокая вытяжка, упругая деформация, пластическая деформация, напряжения, метод конечных элементов.

**Yu. V. Zamaraeva**

## **BUFFING FOR SHEET STAMPING OF THIN-WALL BODY**

The mathematical modeling of sheet punching on the example of deep drawing is performed. The finite element method is applied. It is concluded that plastic deformation during the formation of festons at the initial stages of stamping can be zero. But this does not apply to elastic deformations. They accompany the edge of the workpiece during the entire pressing process without pressing. The stress intensity of along the tangential coordinate continuously changes, which leads to a wave-like change in the profile of the workpiece

*Key words:* sheet stamping, deep drawing, elastic deformation, plastic deformation, stress, finite element method.

С помощью операций листовой штамповки изготавливают большое количество изделий в машиностроении. При этом деформированное состояние заготовки сказывается на формировании структуры и свойств этих изделий [1]. Одна из проблем, возникающих при листовой штамповке тонкостенных стаканов, — появление гофр. Для борьбы с этим явлением применяют с тем или иным успехом штамповку с прижимом. Он позволяет не допустить образования складок в периферийной части листовой заготовки.

Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением в последнее время, как правило, осуществляют с применением программных модулей, реализующих приемы решения метода конечных элементов. Не все программные модули дают адекватное решение задачи листовой штамповки [2], что объясняется необходимостью применения большого количества конечных элементов, рассеянных по большой площади заготовки. При этом в направлении толщины заготовки количество элементов оказывается намного меньше, поэтому их роль в формировании решения задачи оказывается малой.

Именно поэтому были разработаны специализированные пакеты программ, предназначенные исключительно для моделирования листовой штамповки, например, пакет RAM-STAMP [3–6].

Вместе с тем открытым остается вопрос о применении универсальных подходов к решению задачи листовой штамповки. В последнее время широкое распространение получил пакет прикладных программ QFORM, который непрерывно подвергается модернизации фирмой — разработчиком ООО «КванторФорм» (© 1991–2018).

Постановку задачи листовой штамповки методом глубокой вытяжки осуществили в программном комплексе QForm 7, используя 3D-модель. В программном модуле QShape создали конечно-элементную модель инструментальной оснастки и заготовки. Материал заготовки — алюминевый сплав АМг2 М, температура заготовки 20 °С. Для пуансона назначен гидравлический привод, для прижима в случае его использования — привод с усилием 0,2 кН. Матрица неподвижна. Коэффициент трения по Кулону  $\mu = 0,1$ .

На рис. 1 показана схема штамповки пуансоном 1 листовой заготовки 2, которая подвергается глубокой вытяжке в контуре матрицы 3. Как видно из полученного решения, благодаря постановке задачи в 3D-формате удастся увидеть образование фестонов 4 в периферийной зоне заготовки.

Волнистый характер дефекта лучше просматривается в радиальном направлении (рис. 2). Видно, что фестоны представляют собой волнообразную поверхность.

В результате расчетов выявлено, что пластическая деформация при появлении фестонов на начальных стадиях штамповки может равняться нулю. Но это не касается упругих деформаций. Они сопровождают кромку заготовки в течение всего процесса штамповки без прижима. Интенсивность напряжений вдоль тангенциальной координаты непрерывно изменяется (рис. 3). Более темные области соответствуют большему уровню напряжений. Здесь видно, что в прижатых и отогнутых

зонах заготовки интенсивность напряжений оказывается различной. Она больше в отогнутых зонах и может достигать 65 МПа, что соизмеримо с пределом текучести материала заготовки. Тем самым создаются условия для сохранения формы кромки в виде волнистой поверхности после снятия нагрузки.

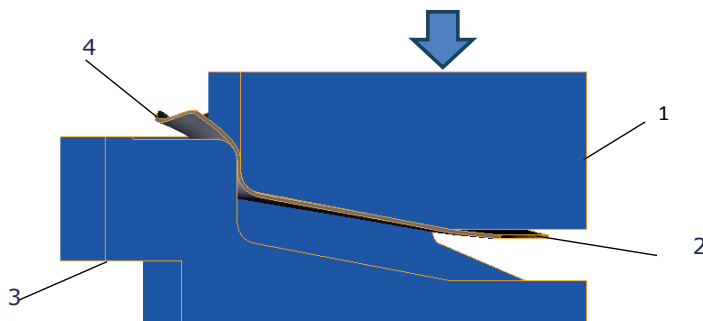


Рис. 1. Стадия штамповки с образованием фестонов:  
1 — пуансон; 2 — листовая заготовка; 3 — матрица; 4 — фестоны



Рис. 2. Вид на фестоны в радиальном направлении

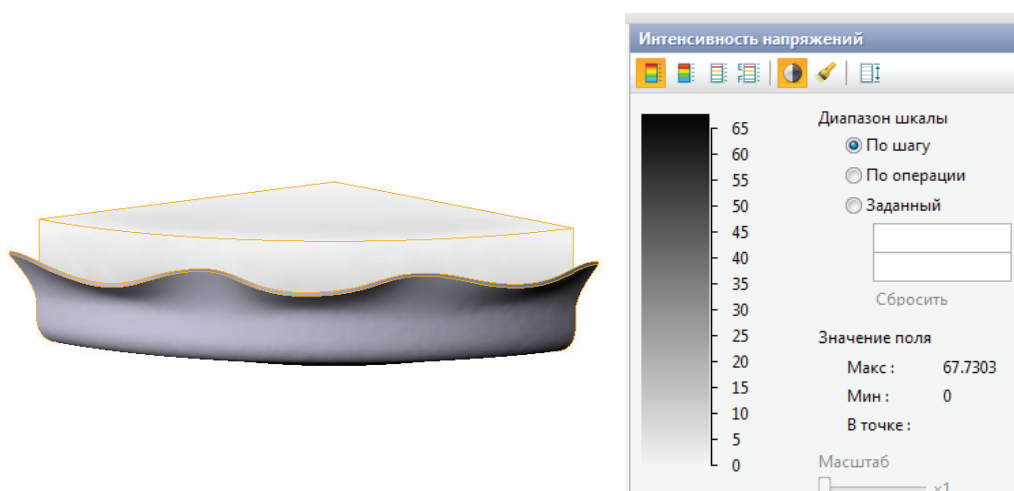


Рис. 3. Изменение интенсивности напряжений в прижатых и отогнутых зонах заготовки

Отдельным вопросом является возможность прогноза количества фестонов по окружности заготовки. Само образование фестонов можно рассматривать как явление потери устойчивости фрагмента заготовки в тангенциальном направлении. Поэтому количество фестонов будет зависеть от сечения заготовки. Для заготовок, имеющих большую толщину, количество фестонов должно быть меньше, а для особо толстых заготовок фестоны могут вообще не образовываться.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Исследование деформационных характеристик и структуры сплава ПЛН-4,5 при изготовлении полых заготовок методом глубокой вытяжки / Б. И. Каменецкий [и др.] // Цветные металлы. 2007. № 8. С. 51–53.
- 2 Логинов Ю. Н. Моделирование деформированного состояния круглой пластины при вытяжке / Ю. Н. Логинов, Б. И. Каменецкий, Г. И. Студенок // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2006. № 3. С. 26–28.
- 3 Ершов А. А. Изучение с помощью программы RAM-STAMP влияния состояния поставки материала на формуемость при штамповке / А. А. Ершов, Ю. Н. Логинов // Металлург. 2014. № 3. С. 38–41.
- 4 Ершов А. А. Расчет компенсации штампового инструмента после пружинения в программном комплексе RAM-STAMP / А. А. Ершов, В. В. Котов, Ю. Н. Логинов // Металлург. 2012. № 7. С. 24–26.
- 5 Ершов А. А. Оптимизация начальной формы заготовки в RAM-STAMP 2G / А. А. Ершов, В. В. Котов, Ю. Н. Логинов // Металлург. 2012. № 4. С. 32–35.
- 6 Ершов А. А. Моделирование формовки панелей кузова автомобиля эластичным пуансоном в программном комплексе RAM-STAMP 2G / А. А. Ершов, В. В. Котов, Ю. Н. Логинов // Металлург. 2012. № 9. С. 33–35.